

НЕСТАЦІОНАРНИЙ ТЕПЛООБМІН – ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ

¹ Вінницький національний технічний університет;

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

На основі експериментальних даних з рідинами визначено коефіцієнт тепловіддачі між середовищем (водою) і циліндричною стінкою стаціонарним методом (розрахунком) і методом регулярного теплового режиму на основі математичної моделі. Запропонована напівемпірична залежність, яка базується на теорії регулярного теплового режиму, забезпечує метод оцінки експериментальних даних експериментальних рідких середовищ під час їх нагрівання та охолодження в межах похибки $\pm 30\%$. Отримані експериментальні дані підтверджують можливість використання методу регулярного теплового режиму та методу стаціонарного режиму, розробленого в розрахунку «великого об'єму», для дослідження інтенсивності теплообміну середовищ з відомою інформацією про теплофізичні властивості при нестационарному теплообміні в «обмеженому обсязі».

Ключові слова: регулярний тепловий режим, нестационарний теплообмін, темп охолодження, коефіцієнт тепловіддачі.

Abstract

On the basis of experimental data with liquids, the coefficient of heat transfer between the environment (water) and the cylindrical wall was determined by the stationary method (calculation) and the method of the regular thermal regime, based on the mathematical model. The proposed semi-empirical dependence, which is based on the theory of a regular thermal regime, provides an estimation method of experimental data of experimental liquid media during their heating and cooling within the error limits of $\pm 30\%$. The obtained experimental data confirm the possibility of using the regular thermal mode method and the steady-state method developed in the calculation of a "large volume" to study the heat transfer intensity of media with known information on thermophysical properties during non-stationary heat exchange in a "limited volume".

Keywords: regular thermal regime, non-stationary heat exchange, cooling rate, heat transfer coefficient.

Вступ

Раніше було розроблено декілька високошвидкісних методів визначення теплових властивостей різних матеріалів, теорія застосовувалася для вирішення питань термометрії, анемометрії та гідрометрії, для теплових розрахунків для визначення коефіцієнтів тепловіддачі та ін. Теорія регулярного режиму багатокомпонентних, особливо двокомпонентних, тіл призвела до створення нових приладів: бікалориметрів для вимірювання теплозахисних властивостей тканин і одягу, приладів для визначення теплопровідності рідин і ін. Таким чином, на даний момент теорія регулярного режиму стала корисною для вирішення різноманітних практичних завдань, він частково став основою техніки теплових вимірювань. З іншого боку, основні положення теорії регулярного режиму не є результатом лише аналітичних операцій. Метою даної статті є перевірка застосування методу стаціонарної теплопровідності для визначення інтенсивності теплообміну між середовищем (водою) і циліндричною стінкою в системі «вода в коаксiальному об'ємі – циліндричний об'єм рідини (розчин).

Результати дослідження

Огляд і вивчення інформації про стаціонарний і нестационарний теплообмін в «обмеженому об'ємі» і у «великому об'ємі» показали необхідність проведення досліджень умов теплообміну в елементах

основного експериментального стенду ЕРМ. Коефіцієнти тепловіддачі, отримані розрахунковим шляхом, порівнювали з розрахунковими та експериментальними значеннями та з коефіцієнтами тепловіддачі, отриманими методами регулярного теплового режиму. Варіанти розрахунку теплообміну в елементах експериментального стенду представлені в даній роботі [3]. Нам не відомі такі установки та експерименти, на яких би вивчався нестационарний теплообмін в обмеженому об'ємі», тому важливо перевірити використання стаціонарних методів розрахунку нестационарної теплопровідності [3]. обміну в системі «вода в коаксіальному об'ємі – циліндричний об'єм рідини (розчину). Проаналізовано зміну теплофізичних властивостей середовищ: олія соняшникова рафінована марки П ДСТУ 4492, гліцерин дистильований, розчин цукру концентрацією $c = 50 \%, 60 \%, 70 \%$, субстрат з діючої біогазової установки, курячий послід вологістю $W = 88 \%$ і 90% при їх нагріванні та охолодженні в результаті вільної конвекції Дослідний стенд складається із зовнішньої металевої посудини, має циліндричну форму і утворює кільцевий об'єм з внутрішньою ємністю; внутрішня металева циліндрична посудина висотою $h_m = 115$ мм, діаметром $dm = 100$ мм і товщиною стінки $\delta_{st} = 0,35$ мм і металевою кришкою, ізольованою ззовні У внутрішню посудину поміщають дослідне середовище з температурою t_2 , в дослідну установку - гарячу воду з температурою t_1 Внутрішню посудину поміщають в дослідну установку, накривають теплоізоляційною кришкою і зберігають до вирівнювання температур в обох рідинах $\pm 3...5^\circ\text{C}$. Відповідно, зонди з п'ятьма термопарами поміщаються в гарячу та холодну рідини для реєстрації температур, через які вони під'єднані до комп'ютера та значення яких одразу записуються в програму Excel [4, 5].

Визначення коефіцієнта тепловіддачі α_1 розрахунковим методом, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [6]

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_1}{H}$$

де Nu_1 – критерій Нуссельта; H – визначальний розмір внутрішньої судини (висота), м; λ_1 – коефіцієнт теплопровідності середовища (води), $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. За умови $F = \text{const}^*$; $\alpha_1 \approx \text{const}^*$; $C_p(t) \approx \text{const}^*$; $m = \text{const}$ для рідини;

$K = \text{var}$ методом регулярного теплового режиму отримано залежність [7] для визначення коефіцієнта тепловіддачі.

$$\alpha_{1\text{rtr}} = \frac{m \cdot C_p}{F \cdot \psi}$$

де m – швидкість охолодження (нагрівання) m досліджуваного рідкого середовища, визначена з рівняння, с^{-1} [8] $m = (\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2) / (\tau_1 - \tau_2) = \text{const}$, де ϑ_1, ϑ_2 – надлишкова середня об'ємна температура досліджуваного рідкого середовища в циліндричній посудині з боку води відповідно в моменти часу τ_1 і τ_2 , $\vartheta = |T_1 - T_2|$, $^\circ\text{C}$; C_p – питома теплоємність середовища (води), $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; F – площа тонкостінного металевого циліндра, м^2 ; ψ – коефіцієнт нерівномірності розподілу температури.

Отримані результати показують, що запропонована напівемпірична залежність, яка базується на теорії регулярного теплового режиму, забезпечує метод оцінки експериментальних даних експериментальних рідких середовищ під час їх нагрівання та охолодження з похибкою $\pm 30\%$.

Висновки

1. На основі експериментальних даних з рідинами визначено коефіцієнт тепловіддачі між середовищем (водою) та циліндричною стінкою α_1 стаціонарним методом (розрахунком) та методом регулярного теплового режиму на основі математичної моделі .

2. Запропонована напівемпірична залежність, яка базується на теорії регулярного теплового режиму, забезпечує метод оцінки експериментальних даних досліджуваних рідин (розчинів) під час їх нагрівання та охолодження з похибкою $\pm 30\%$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Погорелов А. І. Тепломасообмін (основи теорії та розрахунку): Навчальний посібник для вузів. 2-е видання. – Львів: «Новий світ-2000», 2004. – 144 с.
2. Юшко С. В., Борщ О. Є., Токар Г. І. Нестационарна теплопровідність / За ред. посібник Харків, Україна: НТУ «ХП», 2012,

112 с.

3. Ткаченко С.Й., Власенко О.В., Степанова Н.Д., Павлович С.О. Нестационарний теплообмін у вертикальному циліндричному об'ємі, заповненому рідиною. Вісник ВПІ. 2022. № 1. С. 16–20. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-160-1-16-20>.
4. Ткаченко С.Й. та Пішеніна Н.В. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів: моногр. Вінниця: ВНТУ, 2017.
5. Ткаченко С., Власенко О., Резидент Н., Степанов Д., Степанова Н. Охолодження та рідини в циліндричному об'ємі. Acta Innovations. 2021. № 42. С. 15-26. doi: 10.32933/ActaInnovations.42.2.
6. М. А. Міхєєв та І. М. Міхєєва. Основи теплообміну під ред. 2-е, стереотип. М., РФ: Енергія, 1977, 344 с.
7. Ткаченко С., Власенко О. та Житель Н. Теплообмін циліндричного рідкого тіла обмеженої висоти з навколишнім середовищем. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та обладнання. 2021. № 2. С. 27–30. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2021.02.05>.
8. Кондратьєв Г. М. Регулярний тепловий режим. М.: Держ. видання тех.-теор. літ-ри, 1954, 408 с.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: stahit6937@gmail.com.

Ткачук Владислав Сергійович – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tmmlbpr@gmail.com.

Власенко Ольга Володимирівна - доктор філософії, кафедра теплової та альтернативної енергетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: olgakysak7@gmail.com.

Tkachenko Stanislav Y. - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stahit6937@gmail.com.

Tkachuk Vladislav S. – postgraduate student of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tmmlbpr@gmail.com.

Vlasenko Olha V. - Doctor of Philosophy, Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: olgakysak7@gmail.com.